

И. В. МАЗУР, И. Л. ГРЕЧКО, А. В. ГРАБОВСКИЙ, Н. А. ТКАЧУК, Е. С. АНАНЬИН, А. М. ГОЛОВИН

МОДЕЛИ АНАЛИЗА РЕАКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ДЕЙСТВИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ БОЕПРИПАСОВ

В работе описаны базовые модели для анализа реакции защитных экранов на действие кумулятивных боеприпасов. С этой целью построены математические и тестовые численные модели механического взаимодействия боеприпаса в момент подлета к защитному экрану и в дальнейшем при взаимной деформации элементов созданной механической системы. Продемонстрировано влияние условий встречи боеприпаса с экраном на дальнейшее развитие сценария действия боеприпаса на бронепреграду. В частности, на примере решения тестовых задач исследовано влияние механических свойств материала решетчатого экрана и скорости встречи гранаты с экраном на разрушение элементов системы. На этой основе предложено создание виртуального испытательного стенда. Также на основе анализа полученных результатов предложено создать специализированную базу данных.

Ключевые слова: механика сплошной среды, бронезащита, метод конечных элементов, защитный экран, кумулятивный боеприпас, легкобронированная машина

I. V. MAZUR, I. L. GRECHKO, A. V. GRABOVSKIY, M. A. TKACHUK, E. S. ANAN'IN, A. M. GOLOVIN

МОДЕЛІ АНАЛІЗУ РЕАКЦІЇ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ НА ДІЮ КУМУЛЯТИВНИХ БОЄПРИПАСІВ

У роботі описані базові моделі для аналізу реакції захисних екранів на дію кумулятивних боеприпасів. З цією метою побудовані математичні та тестові чисельні моделі механічної взаємодії боеприпасу у момент підльоту до захисного екрану та у подальшому при взаємному деформуванні елементів утвореної механічної системи. Продемонстровано вплив умов зустрічі боеприпаса із екраном на подальший розвиток сценарію дії боеприпасу на бронеперешкоду. Зокрема, на прикладі рішення тестових завдань досліджено вплив механічних властивостей матеріалу решітчатого екрану і швидкості зустрічі гранати з екраном на руйнування елементів системи. На цій основі запропоновано створення віртуального випробувального стенду. Також на основі аналізу отриманих результатів запропоновано створити спеціалізовану базу даних.

Ключові слова: механіка суцільного середовища, бронезахист, метод скінченних елементів, захисний екран, кумулятивний боеприпас, легкоброньована машина

I. MAZUR, I. GRECHKO, A. GRABOVSKIY, M. A. TKACHUK, E. ANAN'IN, A. M. GOLOVIN MODELS OF ANALYSIS OF PROTECTIVE SCENES REACTION ON THE ACTION OF CUMULATIVE AMMUNITION

The paper describes the basic models for analyzing of reaction of protective screens to the effect of cumulative ammunition. For this purpose mathematical and test numerical models are constructed for mechanical interaction of an ammunition at the moment of approach to protective screen and later in the mutual deformation of elements of the formed mechanical system. The influence of conditions of an ammunition meeting with the screen on the further development of the munitions action scenario on armor obstacles is demonstrated. In particular, the influence of mechanical properties of the grating screen material and the speed of grenade's meeting with the screen on the destruction of the elements of the system are studied using the example of test problems solving. On this basis, the creation of a virtual test stand is proposed. Also, based on the analysis of the results obtained, it is proposed to create a specialized database.

Keywords: continuum mechanics, armor protection, finite element method, protective screen, cumulative ammunition, lightly armored vehicle

Введение. В настоящее время резко возрос интерес к повышению эффективности решетчатых экранов (РЭ) для легкобронированных машин (ЛБМ) от действия кумулятивных боеприпасов. Это обусловлено, в частности, широким применением такого типа боеприпасов в ходе боевых действий в восточных областях Украины.

Для защиты от действия такого опасного средства поражения как кумулятивные гранаты нашли широкое применение различные виды защитных экранов. Их подробное описание приведено, в частности, в работах [1, 2]. Особо следует выделить, кроме этого, еще и работы последнего времени [3–25]. В них рассмотрены также и другие решения повышения защищенности бронекорпусов.

Все упомянутые и многие другие работы имеют своей целью минимизировать урон от действия кумулятивных боеприпасов (КБ) и других поражающих факторов.

При этом применяются различные подходы, методы и модели: от статистических моделей условий

встречи боеприпаса с экраном, базирующихся на чисто геометрическом анализе прохождения/непрохождения ячейки экрана КБ, до анализа процессов взаимодействия кумулятивной струи с экраном или бронеэлементом.

Предложенные ранее подходы, методы и модели имеют несомненную методологическую и практическую ценность. В то же время они не исчерпывают весь ряд проблемных вопросов. В частности, речь в настоящее время идет о применении целого спектра кумулятивных боеприпасов, имеющих различный калибр, начальную скорость подлета, различное конструктивное исполнение и т.п. То же самое можно утверждать относительно защитных экранов:

- при их создании наблюдается самое разное конструктивное исполнение,
- вариации свойствами материалов, из которых они изготовлены,

© И. В. Мазур, И. Л. Гречко, А. В. Грабовский,
Н. А. Ткачук, Е. С. Ананьин, А. М. Головин, 2018

- вариации размерами и формами элементов защитных структур и т.п.

Таким образом, возникает не единичная задача обоснования конструкции определенного решетчатого экрана от определенного боеприпаса для определенной легкобронированной машины, а, наоборот, – анализ действия спектра кумулятивных боеприпасов на РЭ различного варианта исполнения, установленных на разнообразные ЛБМ.

Решение таких задач опытным путем – достаточно ресурсозатратный путь. В связи с этим особую актуальность приобретает задача разработки подходов, методов и моделей для вариативного компьютерного анализа результатов взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном легкобронированных машин. Этой цели посвящена данная работа.

Общие подходы, методы и модели. КБ обладает несколькими видами воздействий на бронезащиту, среди которых можно выделить динамическое, фугасное и кумулятивное. Первое обусловлено кинетической энергией движущегося боеприпаса (скорость – несколько сот метров в секунду, масса – несколько килограммов). Второе – наличием взрывчатого вещества, которое оказывает разрушающее влияние на преграду при обычном взрыве. Наиболее опасное – третье – обуславливается высококонцентрированным направленным действием кумулятивной струи, образуемой специальным сценарием подрыва боезаряда и формой его передней части.

Основными способами снижения эффективности кумулятивных боеприпасов при действии на ЛБМ являются: создание условий несрабатывания заряда, предотвращение образования полноценной кумулятивной струи путем частичного или полного разрушения кумулятивных боеприпасов, отклонение КБ от исходной траектории, отклонение кумулятивной струи от опасного для бронепреграды направления и т.п. При этом, как отмечалось, следует промоделировать многие варианты взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном. Их можно описать при помощи варьируемых параметров:

- 1) структура решетчатых экранов;
- 2) свойства материалов РЭ;
- 3) геометрические размеры ячеек решетчатых экранов;
- 4) тип кумулятивных боеприпасов;
- 5) условия встречи кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном.

Соответственно, при моделировании процесса и результата взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном необходимо располагать математическими и численными моделями, которые обладают возможностями:

- адекватно отображать протекающие процессы;
- варьировать перечисленные выше группы

параметров 1)–5);

- проводить анализ получаемых результатов.

В основе создаваемой для этих целей комплексной модели лежат основные соотношения физики взрыва, механики сплошной среды, метода конечных элементов и обобщенного параметрического моделирования [1, 2, 26–28]. Эта модель реализована в виде специализированного программно-модельного комплекса, на входе которого – набор варьируемых обобщенных параметров, а на выходе – рекомендации по обоснованию вариантов исполнения решетчатых экранов.

Численные примеры исследований. Фрагментарно комплекс численного моделирования взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном продемонстрирован на тестовом примере о взаимодействии кумулятивной гранаты массой 1,8 кг со стальной полосой. Варьируются: физико-механические свойства материала полосы:

- предел текучести σ_T и предел прочности σ_B – номинал $\pm 40\%$,
- скорость полета гранаты ($250 \text{ м/с} \pm 20\%$).

Материал внешнего обтекателя гранаты – алюминиевый сплав. В качестве базовой информации выступают "кинограммы" моделируемого процесса и результаты: разрушение/неразрушение оболочки кумулятивных боеприпасов и пластинчатого элемента экрана.

На рис. 1–15 представлены иллюстративные материалы, а на рис. 16, 17 – сводная интегральная информация.

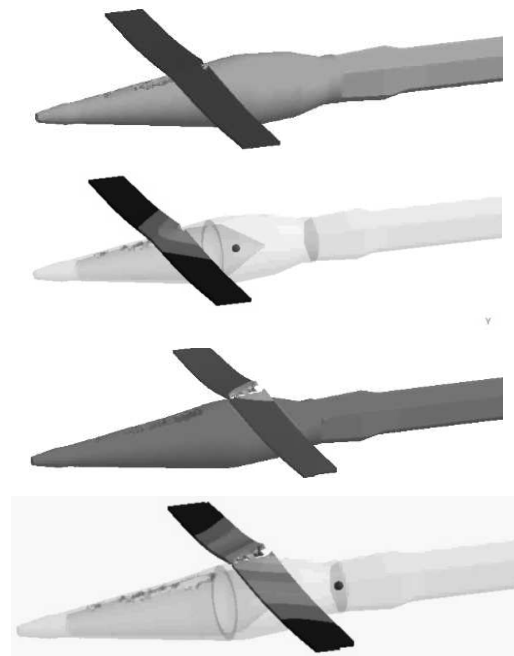


Рис. 1 – "Кинограммы" процесса взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном легкобронированных машин (скорость встречи 200 м/с, предел текучести σ_T и предел прочности σ_B полосы экрана – 40% от номинала)

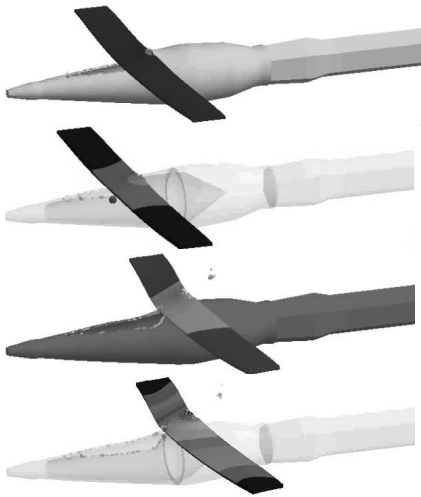


Рис. 2 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 200 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – 20% от номинала)

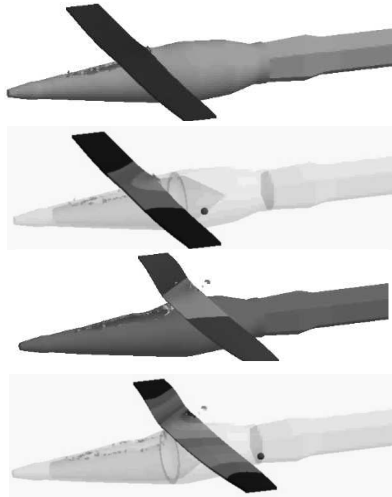


Рис. 3 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 200 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – номинал)

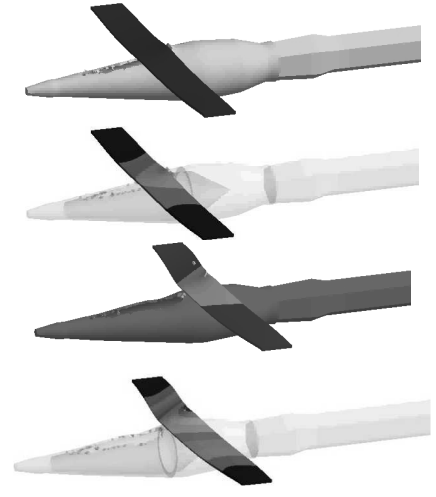


Рис. 4 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 200 м/с, σ_T и предел прочности $\sigma_B + 20\%$ от номинала)

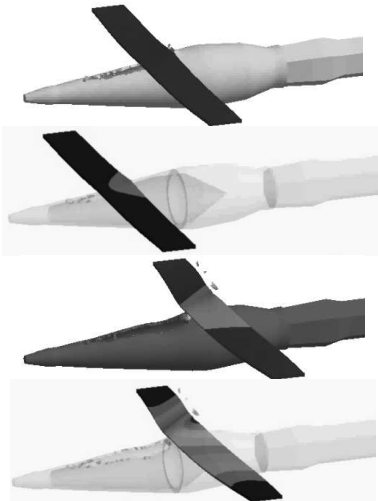


Рис. 5 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 200 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана +40% от номинала)

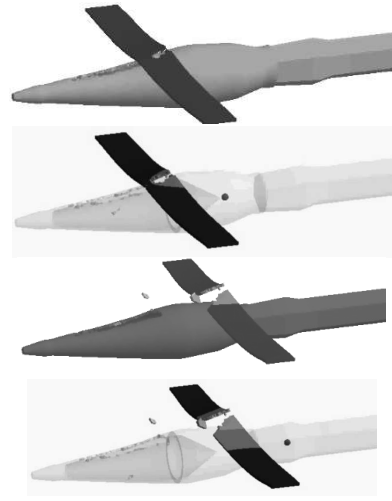


Рис. 6 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 250 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – 40% от номинала)

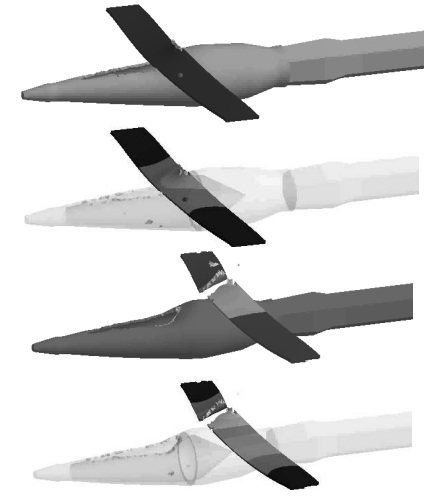


Рис. 7 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 250 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – 20% от номинала)

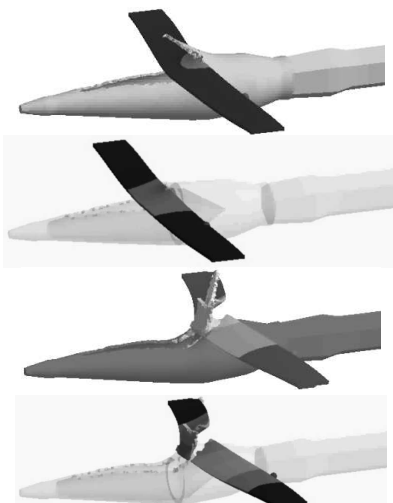


Рис. 8 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 250 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – номинал)

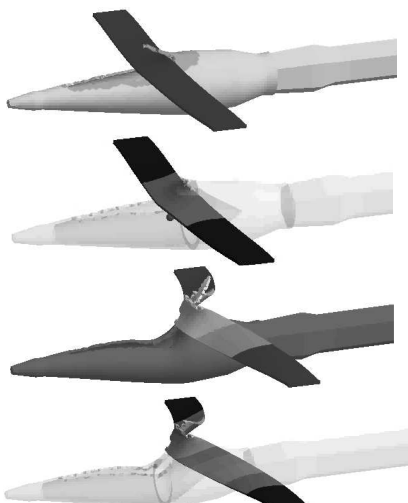


Рис. 9 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 250 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана +20% от номинала)

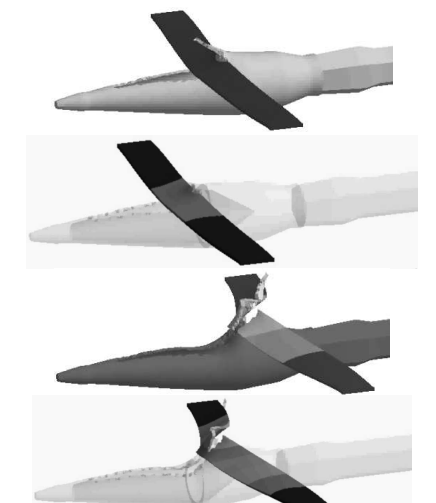


Рис. 10 – "Кинограммы" процесса взаимодействия КБ с РЭ ЛБМ (скорость встречи 250 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана +40% от номинала)

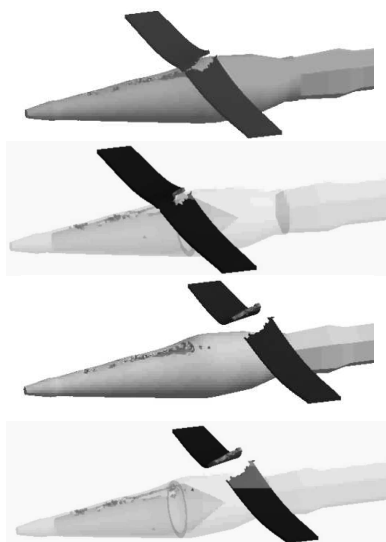


Рис. 11 – "Кинограммы" процесса взаимодействия KB с РЭ ЛБМ (скорость встречи 300 м/с σ_T и σ_B полосы экрана – 40% от номинала)

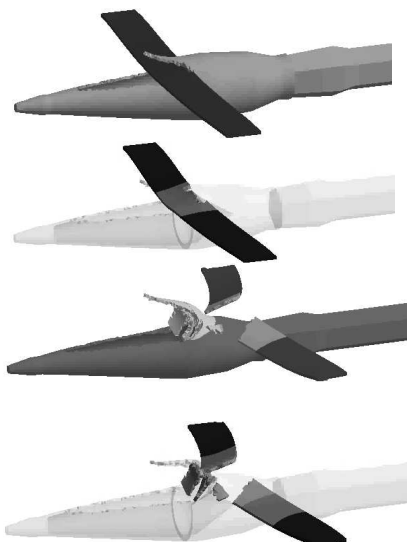


Рис. 12 – "Кинограммы" процесса взаимодействия KB с РЭ ЛБМ (скорость встречи 300 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – 20% от номинала)

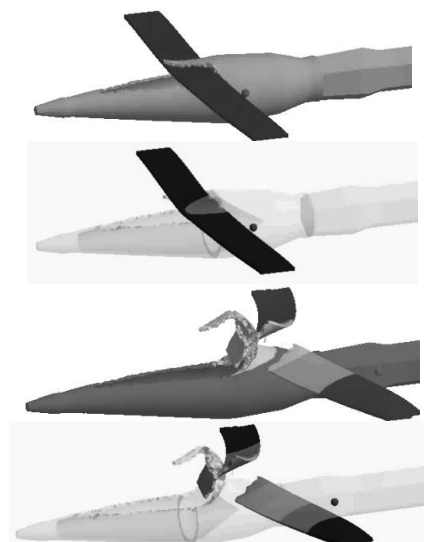


Рис. 13 – "Кинограммы" процесса взаимодействия KB с РЭ ЛБМ (скорость встречи 300 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана – номинал)

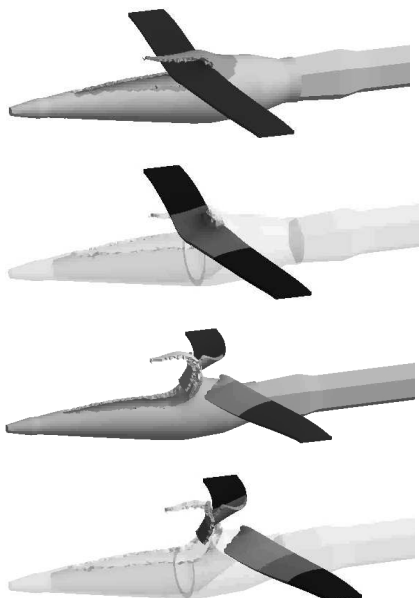


Рис. 14 – "Кинограммы" процесса взаимодействия KB с РЭ ЛБМ (скорость встречи 300 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана +20% от номинала)

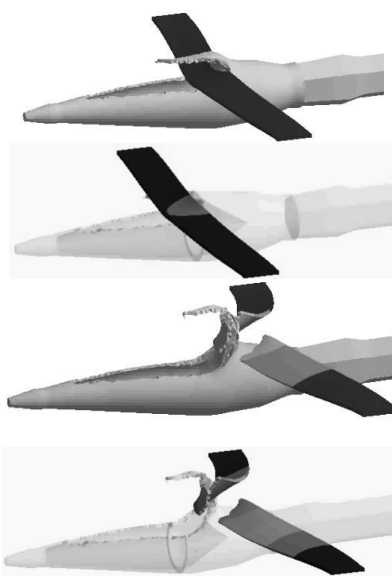


Рис. 15 – "Кинограммы" процесса взаимодействия KB с РЭ ЛБМ (скорость встречи 300 м/с, σ_T и σ_B полосы экрана +40% от номинала)

Отклонение σ_T и σ_B от номинального значения	Скорость встречи, м/с		
	200	250	300
-40%	+	+	+
-20%	-	+	+
-10%	-	+	+
0%	-	+	+
10%	-	+	+
20%	-	+	+
40%	-	+	+

Рис. 16 – Интегральные результаты взаимодействия KB с РЭ (разрушение полосы – "+", неразрушение – "-")

Отклонение σ_T и σ_B от номинального значения	Скорость встречи, м/с		
	200	250	300
-40%	-	-	-
-20%	-	-	+
-10%	-	+	+
0%	-	+	+
10%	-	+	+
20%	-	+	+
40%	-	+	+

Рис. 17 – Интегральные результаты взаимодействия KB с РЭ (разрушение кумулятивной воронки гранаты – "+", неразрушение – "-")

Заключение. Представленные результаты демонстрируют возможности и преимущества предложенного подхода, разработанных методов и созданных моделей. Они, состоят, во-первых, в вариативности элементов исследуемой системы "кумулятивный боеприпас – решетчатый экран". Во-вторых, с высокой степенью точности моделируются процессы взаимодействия элементов KB и РЭ, т.е. одного из основных, определяющих эффективность экранного действия. В-третьих, создаются условия для построения варьируемых пространственных обобщенных диаграмм, определяющих результаты взаимодействия кумулятивных боеприпасов с решетчатым экраном.

Таким образом, создается взаимосвязанный многофакторный отклик системы "кумулятивный боеприпас – решетчатый экран". Путем варьирования исходных данных строится соответствующая база данных, содержащая интегральную информацию, которая служит основой для принятия соответствующих проектных решений относительно РЭ для легкобронированных машин.

В дальнейшем планируется расширить предложенный подход, а разработанные методы и созданные модели – применить для решения широкого круга прикладных задач.

Список литературы

- Ткачук А. В., Скрипченко Н. Б., Мазур И. В. [и др.] Взаимодействие индентора различной формы с преградой: постановка проблемы. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXV міжн. наук.-практ. конф. MicroCAD-2017, 17-19 травня 2017р.: у 4 ч. Ч. I*. Харків: НТУ "ХПІ", 2017. С. 223.
- Мазур И.В., Грабовский А.В., Ткачук Н.А., Мормило Я.М. Оптимизация расчета конструктивных параметров элементов решетчатых противоккумулятивных экранов. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР*. Харків: НТУ "ХПІ", 2016. № 39 (1211). С. 86–92.
- Megan Scully. GD Seeks Global Sales for Stryker. *Defense News*, 2004. P. 30.
- Научно-исследовательский институт Стали. Комплекс решетчатых экранов [Електронний ресурс] – Режим доступа http://www.niistali.ru/products/nauka/protection/slat_armor/.
- QinetiQ поставит текстильную броню Q-Net для защиты от РПГ на М-АТВ армии США [Електронний ресурс] – Режим доступа <http://topwar.ru/37219-qinetiq-postavit-tekstilnyu-bronyu-q-net-dlya-zaschity-ot-rpg-na-m-atv-armii-ssha.html>.
- Васьковский М.И. Математическая модель оценки противоккумулятивных решетчатых экранов для легкобронированных машин. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. К.: НТП АСВ, 2005, вып. 1(14). С. 28–32.
- Алексеев П.Т. Экранировка танков и самоходных установок для защиты их от кумулятивных средств поражения. *Труды ЦНИИ-48*. 1948. №3(37).
- Чепков И.Б., Васьковский М.И., Неговский А.Н. Принципы и методы решения проблемы повышения защищенности и живучести ББМ с использованием защитных устройств динамического типа. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*. 2006. № 1. С. 11–16.
- Мазур И.В., Ткачук А.В., Набоков А.В. Разработка противоминной защиты, исходя из специфики требований к транспорту специального назначения для миротворческих гуманитарных миссий. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Машинознавство та САПР*. Харків, 2017. № 12 (1234). С. 65–75.
- Бісик С.П. Аналіз пріоритетних напрямів вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин. *ЦНДІ ОБТ ЗСУ. Збірник наук. праць*. К.: ЦНДІ ОБТ ЗСУ, 2011. Вип. 19(41). С. 77–81.
- STANAG 4569 edition 1. *Protection levels for occupants of logistic and light armored vehicles*, NSA/0533-LAND/4569.
- Бісик С.П., Чепков І.Б., Голуб В.А., Ларін О.Ю. Дослідження вибухового навантаження V-подібної моделі днища бойової машини. *ЦНДІ ОБТ ЗСУ. Збірник наук. праць*. – К.: ЦНДІ ОБТ, 2012. – Вип. 1 (22). – С. 232–240.
- Бісик С.П., Круковский Сіневич К.Б., Чепков І.Б. [та ін.]. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин. *Механіка та машинобудування*. Харків: НТУ "ХПІ", 2012. № 2. С. 110–118.
- Чепков И.Б. Модель обоснования технических решений защитных устройств боевых бронированных машин. *Артиллер. и стрелковое вооружение*. – 2011. – № 4. – С. 42–46.
- Лапицкий С.В., Кучинский А.В., Сбитнев А.И. [и др.] Основы военно-технических исследований. Теория и приложения: монография: [в 4 т.]. Т. 4. Методология исследования сложных систем военного назначения; ред.: С.В. Лапицкий. К., 2013. 477 с.
- Васильев А. Ю., Шаталов О. Е., Дудар Е. С. комплексна математична модель побудови тривимірних тактичних діаграм. *Зб. тез доповідей V Міжнарод. наук.-практ. конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 жовтня 2017 р., Київ)*. Київ: ДНУ УКРІНТЕІ, 2017. С. 115.
- Васьківський М. І. Проблемні питання розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ збройних сил України на сучасному етапі. *Зб. тез доповідей V Міжнарод. наук.-практ. конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 жовтня 2017 р.)*. Київ: ДНУ УКРІНТЕІ, 2017. С. 97.
- Лобода П.І., Солодкий Є.В., Богомол Ю.І., Втерковський М.Я. Арматура кераміка – захист нового покоління. *Зб. тез доп. V Міжнарод. наук.-практ. конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 жовтня 2017 р.)*. Київ: ДНУ УКРІНТЕІ, 2017. С. 161.
- Соболь О. В., Бармін О. С., Білозеров В. В., Субботіна В. В., Шевченко С. М. Трививірна структурна інженерія іонно-плазмовими методами для підвищення експлуатаційних характеристик деталей військової техніки та бронезахисних елементів. *Зб. тез доп. V Міжнарод. наук.-практ. конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 жовтня 2017 р., Київ)*. Київ: ДНУ УКРІНТЕІ, 2017. С. 194.
- Васьківський М. І., Гуляєв А.В., Канишев В.В. Оцінка уражаючої дії кулі при взаємодії з додатковим захистом легкоброньованих машин. *Зб. тез доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2017. С. 22.
- Петрученко О.С., Флод О.В., Величко Л.Д. Вплив пружного підкріплення в захисній конструкції на її характеристики. *Зб. тез доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (11-12 травня 2017 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2017. С. 52.
- Бісик С.П. Дослідження протимінної стійкості бойових броньованих машин з використанням методів числового моделювання. *Зб. тез доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (18-20 травня 2016 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2016. С. 15–16.
- Петрученко О.С., Величко Л.Д., Кондрат В.Ф. Вплив геометрії захисного обладнання на пробивну його здатність. *Зб. тез доповідей Міжнарод. наук.-техн. конференції "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (18-20 травня 2016 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2016. С. 49.
- Петрученко О.С., Величко Л.Д., Кондрат В.Ф. До математичного моделювання взаємодії вражаючих факторів з плоскими броньованими листами. *Зб. тез доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (18-20 травня 2016 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2016. С. 50.
- Шаталов О. Е., Дудар Е. С., Васильев А. Ю. Методика врахування місцевості та геометрії броньованих машин при побудові тактичних діаграм. *Зб. тез доп. Міжнарод. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ" (18-20 травня 2016 р., Львів)*. Львів: Нац. акад.-я сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, 2016. С. 68.
- Зукас Дж., Ніколас Т., Свіфт Х.Ф. [и др.] *Динамика удара*: Пер. с англ. под редакцией С. С. Григоряна. М.: Мир, 1985. 296 с.
- Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. and Zhu J.Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Sixth Edition Butterworth-Heinemann, 2005. 752 p.
- Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д. [и др.] Конечные-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания. *Механіка та машинобудування*. Харків: НТУ "ХПІ", 2006. № 1. С. 57–79.

References (transliterated)

- Tkachuk A.V., Skripchenko N.B., Mazur I.V. [i dr.] Vzaimodeystvie indentora razlichnoj formy s pregradoj: postanovka problemy. *Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, osvita, zdorov'ja: tezi dop. XXV mizhn. nauk.-prakt. konf. MicroCAD-2017, 17-19 travnja 2017r.: u 4 ch. Ch. I*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, P. 223.
- Mazur I.V., Grabovskij A.V., Tkachuk N.A., Mornilo Ja.M. Optimizacija rascheta konstruktivnyh parametrov jelementov reshetchatyh protivokumuljativnyh jekranov. *Visnik NTU " KhPI". Serija: Mashinoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv : NTU "KhPI", 2016, no. 39 (1211), pp 86-92.
- Megan Scully. GD Seeks Global Sales for Stryker. *Defense News*, 2004. P. 30.
- Nauchno-issledovatel'skij institut Stali. Kompleks reshetchatyh jekranov (RJe) [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupa http://www.niistali.ru/products/nauka/protection/slat_armor/.
- QinetiQ postavit tekstil'nuju bronju Q-Net dlja zashhity ot RPG na M-ATV armii SShA [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupa <http://topwar.ru/37219-qinetiq-postavit-tekstilnyu-bronyu-q-net-dlya-zaschity-ot-rpg-na-m-atv-armii-ssha.html>.
- Mazur I.V., Tkachuk A.V., Nabokov A.V. Razrabotka protivominnoj zashhity, ishodja iz specifiki trebovanij k transportu special'nogo naznachenija dlja mirotvorcheskikh gumanitarnyh missij. *Visnik NTU " KhPI". Serija: Mashinoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv, 2017, no. 12 (1234), pp. 65–75.
- Vas'kovskij M.I. Matematicheskaja model' ocenki protivokumuljativnyh reshetchatyh jekranov dlja legkobronirovannyh mashin. *Artillerijskoe i*

- strelkovoe vooruzhenie: Mezhd. nauch.-tehn. zhurnal. K.: NTC ASV, 2005, vol. 1(14), pp. 28-32.
7. Alekseev P.T. Jekranirovka tankov i samohodnykh ustanovok dlja zashchity ih ot kumuljativnykh sredstv porazhenija. *Trudy CNII-48*. 1948. №3(37).
 8. Chepkov I.B., Vaskovskij M.I., Negovskij A.N. Principy i metody reshenija problemy povyshenija zashchishhennosti i zhivuchesti BBM s ispol'zovaniem zashhitnykh ustrojstv dinamicheskogo tipa. *Artilleri i strelkovoe vooruzhenie*, 2006, no. 1, pp. 11–16.
 9. Mazur I.V., Tkachuk A.V., Nabokov A.V. Razrabotka protivominnoj zashchity, ishodja iz specifiky trebovanij k transportu special'nogo naznacheniya dlja mirotvorcheskikh humanitarnykh missij. *Visnik NTU "KhPI". Serija: Mashinoznavstvo ta SAPR*. Kharkiv, 2017, no.12 (1234), pp. 65–75.
 10. Bisyk S.P. Analiz prioritytnykh napryamiv vdoskonalennya protymynnoho zakhystu boyovykh bron'ovanykh mashyn. *TsNDI OVT ZSU. Zbirnyk nauk. prats'*. K.: TsNDI OVT ZSU, 2011, vol. 19(41), pp. 77–81.
 12. Bisyk S.P., Chepkov I.B., Holub V.A., Larin O.Yu. Doslidzhennya vybuchovoho navantazhennya V-podibnoyi modeli dnyshcha boyovoyi mashyny. *TsNDI OVT ZSU. Zbirnyk nauk. prats'*. K.: TsNDI OVT, 2012, vol. 1 (22), pp. 232–240.
 13. Bisyk S.P., Krukovskyy-Sinevykh K.B., Chepkov I.B. [ta in.]. Doslidzhennya navantazhennya vybuchom maketiv dnyshch boyovykh mashyn. *Mekhanika ta mashynobuduvannya*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2012, no. 2, pp. 110–118.
 14. Chepkov I.B. Model' obosnovanija tehniceskikh reshenij zashhitnykh ustrojstv boevykh bronirovannykh mashin. *Artilleri i strelkovoe vooruzhenie*, 2011, no. 4, pp. 42–46.
 15. Lapickij S.V., Kuchinskij A.V., Sbitnev A.I. [i dr.] *Osnovy voenno-tehnicheskikh issledovanij. Teorija i prilozhenija: monografija: [v 4 t.]*. T. 4. Metodologija issledovanija slozhnykh sistem voennogo naznacheniya; red.: S.V. Lapickij. Kiev, 2013. 477 p.
 16. Vasylyev A. Yu., Shatalov O. Ye., Dudar Ye. Ye. kompleksna matematychna model' pobudovy tryvmymnykh taktychnykh diahram. *Zb. tez dopovidey V Mizhnar.yi nauk.-prakt. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 zhovtnya 2017 r.)*. K.: DNU UKRINTEI, 2017. P. 115
 17. Vas'kiv's'kyi M. I. Problemi pytannya rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k zbroynykh syl ukraïny na suchasnomu etapi. *Zb. tez dopovidey V Mizhnar.yi nauk.-prakt. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 zhovtnya 2017 r.)*. K.: DNU UKRINTEI, 2017. P. 97
 18. Loboda P. I., Solodkyi Ye. V., Bohomol Yu. I., Vterkov's'kyi M. Ya. Armovana keramika – zakhyst novoho pokolinnya. *Zb. tez dopovidey V Mizhnar.yi nauk.-prakt. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 zhovtnya 2017 r.)*. K.: DNU UKRINTEI, 2017. P. 161.
 19. Sobol' O. V., Barmin O. Ye., Bilozero V. V., Subbotina V. V., Shevchenko S. M. Trynivneva struktura inzheneriya ionno-plazmovomy metodamy dlya pidvyshchennya ekspluatatsiynykh kharakterystyk detaley viys'kovoyi tekhniki ta bronzakhysnykh elementiv. *Zb. tez dopovidey V Mizhnar.yi nauk.-prakt. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 zhovtnya 2017 r.)*. K.: DNU UKRINTEI, 2017. P. 194.
 20. Vas'kiv's'kyi M. I., Hulyayev A.V., Kanishchev V.V. Otsinka urazhayuchoyi diyi kuli pry vzayemodiyi z dodatkovym zakhystom lehkobron'ovanykh mashyn. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017. P. 22
 21. Petruchenko O.S., Flyud O.V., Velychko L.D. Vplyv pruzhnoho pidkriplennya v zakhysniy konstrukttsiyi na yiyi kharakterystyky. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (11-12 travnya 2017 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2017. P. 52.
 22. Bisyk S.P. Doslidzhennya protymynnoyi stykosti boyovykh bron'ovanykh mashyn z vykorystanniam metodiv chyslovoho modelyuvannya. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (18-20 travnya 2016 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2016. P. 15–16.
 23. Petruchenko O.S., Velychko L.D., Kondrat V.F. Vplyv heometriyi zakhysnoho obladnennya na probyvnu yoho zdattist'. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (18-20 travnya 2016 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2016. P. 49
 24. Petruchenko O.S., Velychko L.D., Kondrat V.F. Do matematychnoho modelyuvannya vzayemodiyi vrazhayuchykh faktoriv z ploskymy bron'ovanymy lystamy. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (18-20 travnya 2016 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2016. P. 50.
 25. Shatalov O. Ye., Dudar Ye. Ye., Vasylyev A. Yu. Metodyka vrakhuvannya mistsevoosti ta heometriyi bron'ovanykh mashyn pry pobudovi taktychnykh diahram. *Zb. tez dopovidey Mizhnar.yi nauk.-tehn. konferentsiyi "Perspektyvy rozvytku ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniki sukhoputnykh viys'k" (18-20 travnya 2016 r., L'viv)*. L'viv: Nats. akad-ya sukhoputnykh viys'k im. het'mana P. Sahaydachnoho, 2016. P. 68
 26. Zukas Dzh., Nikolas T., Svift X.F. [i dr.] *Dinamika udara: Perevod s angl. pod redakciej S. S. Grigorijana*. M.: Mir, 1985. 296 p.
 27. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. and Zhu J.Z. *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. Sixth Edition Butterworth-Heinemann, 2005. 752 p.
 28. Tkachuk N.A., Gricenko G.D., Chepurnoj A.D. [i dr.] Konechno-jelementnye modeli jelementov slozhnykh mehanicheskikh sistem: tehnologija avtomatizirovannoj generacii i parametrizovannogo opisanija. *Mehanika ta mashynobuduvannya*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2006, no. 1, pp. 57-79.

Поступила (received) 20.10.2017

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мазур Ігор Віталійович (Мазур Игорь Витальевич, Mazur Igor) – інженер-конструктор ДП "Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова".

Гречко Іван Леонідович (Гречко Иван Леонидович, Grechko Ivan) – начальник сектору ДП "Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім. О.О. Морозова".

Грбовський Андрій Володимирович (Грбовский Андрей Владимирович, Grabovskiy Andrey) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", старший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6116-0572>; e-mail: andrej8383@gmail.com.

Ткачук Микола Анатолійович (Ткачук Николай Анатольевич, Tkachuk Mykola) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", завідувач кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин"; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4174-8213>; тел.: (057)7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Ананьїн Євгеній Сергійович (Ананьин Евгений Сергеевич, Anan'in Evgeniy) – студент гр. ТМ-846, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"; м. Харків, Україна

Головін Андрій Михайлович (Головин Андрей Михайлович, Golovin Andrey) – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"; студент гр. ТМ-846, м. Харків, Україна